

# ANALISIS DEFORMASI DAERAH PORONG – SIDOARJO TERKAIT SEMBURAN LUMPUR DENGAN TEKNIK INTERFEROMETRI

*(Land Deformation Analysis of Porong Mud-Volcano  
Based on Satellite Interferometry)*

oleh / by :

**Agustan<sup>1</sup> dan Fumiaki Kimata<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam (PTISDA), BPPT,  
Jln. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta 10340

<sup>2</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Japan 4648601  
Email: [agustan@bppt.go.id](mailto:agustan@bppt.go.id), [kimata@seis.nagoya-u](mailto:kimata@seis.nagoya-u).

Diterima (received): 10 Februari 2011; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 19 April 2011

Semburan lumpur di daerah Sidoarjo, Jawa Timur telah mengakibatkan deformasi lahan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kemampuan citra satelit radar dengan teknik interferometri untuk menganalisis deformasi lahan tersebut. Data satelit radar (ALOS-PALSAR) dari bulan Agustus 2007 sampai Januari 2009 diolah menggunakan 2-pass differential InSAR. Interferogram dibentuk dari dua data radar dengan ketelitian registrasi offset kurang dari setengah pixel dengan pendekatan polinomial orde tiga. Simulasi data DEM diturunkan dari data SRTM, dan beda fase hasil perhitungan dipertajam dengan menggunakan algoritma Median Spatial Filter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sejak periode awal, daerah terdeformasi telah teridentifikasi. Peningkatan besaran vertikal lebih dominan dibandingkan peningkatan luasnya daerah terdeformasi dan mengilustrasikan penurunan permukaan tanah (land subsidence) di beberapa tempat. Peningkatan permukaan tanah juga teridentifikasi tetapi hal ini mungkin terkait dengan aktifitas peninggian tanggul penahan luapan lumpur. Penurunan permukaan tanah terdeteksi dari 5 – 16 cm dalam 17 bulan. Mekanisme perubahan permukaan dapat dimodelkan berdasarkan pola warna yang terdeteksi dengan pendekatan patahan dan intrusi.

**Kata Kunci :** InSAR, Interferometri Deferensial, Semburan Lumpur, Deformasi Lahan

## ABSTRACT

The mud flow in Sidorajo, East Java has caused land deformation. This research focused on assessing the ability of differential InSAR to detect the land deformation related to the mud volcano. Seven ALOS-PALSAR data, which were obtained on August 2007 until January 2009 were processed based on 2-pass differential InSAR. The deformation were enhanced on the image using Median Spatial Filtering technique. It is shown that the deformed areas have expanded to the north as uplifted area and to the west as subsided area. The deformed area has been identified since the first observation. However, the magnitude of vertical deformation in this area has increased time by time. Meanwhile, the subsidence has increased from 5 - 16 centimeters in 17 months. The vertical deformation derived from InSAR was used to model the possible mechanism of land deformation in this

region. The result shows that the fringes pattern is differ between the long-term and shortterm data analysis. The fringes pattern from long-term data analysis indicates a combination between faulting and dyke mechanism. Whereas, the fringes pattern derived from the short-term data analysis indicates point source dislocation.

**Keywords :** InSAR, Differential Interferometry, Mud Volcano, Land Deformation

## PENDAHULUAN

Semburan uap, air dan lumpur yang terjadi di Porong, Sidoarjo dimulai pada tanggal 29 Mei 2006. Dari aktifitas semburan, para ahli mengklasifikasikan fenomena ini sebagai “*mud volcano*” atau dapat diterjemahkan sebagai “gunung lumpur”. Skinner and Mazzini (2009) mendefinisikan gunung lumpur sebagai sebuah fenomena geologi yang terjadi melalui letusan tiba-tiba atau ekstrusi perlahan dari sedimen, batuan, dan cairan dari lapisan yang lebih dalam.

Secara geomorfik, gunung lumpur ini menghasilkan kawah berbentuk lubang yang pada umumnya terletak pada kerucut topografi, gundukan, atau punggung dengan berbagai ukuran dan bentuk, yang dikelilingi oleh aliran lumpur (Khalilov dan Kerimov, 1981; Kholodov, 2002; dan Kopf, 2002).

Selain menyemburkan gas metan, uap air dan lumpur, fenomena gunung lumpur juga mengubah bentuk permukaan bumi (*ground deformation*). Perubahan bentuk permukaan sangat berpengaruh terhadap obyek yang ada di atasnya misalnya struktur bangunan dan utilitas sehingga penting untuk dipantau. Terkait dengan gunung lumpur di Sidoarjo, beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan deformasinya misalnya: Abidin et al. (2008) dan Fukushima et al. (2009). Kedua penelitian tersebut membahas perubahan permukaan dari data yang diperoleh dari metode pengamatan *Global Positioning System* (GPS) dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR).

Teknik InSAR mampu mendeteksi perubahan permukaan bumi dengan memanfaatkan beda fasa gelombang

elektromagnetik yang direkam pada dua waktu pengamatan yang berbeda. Data yang dapat digunakan dengan teknik ini salah satunya adalah satelit radar. Satelit radar yang mengorbit sampai saat ini adalah satelit ALOS (*Advance Land Observation Satellite*) dengan sensor PALSAR (*The Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*). Tulisan ini menguraikan hasil pengolahan data PALSAR dalam memahami perubahan permukaan terkait dengan gunung lumpur di Porong, Sidoarjo.

## BAHAN DAN METODE

Untuk memahami perubahan permukaan akibat gunung lumpur di Sidoarjo, beberapa data satelit PALSAR sejak tahun 2007 sampai 2009 diolah dengan teknik interferometri. Data PALSAR tersedia dalam beberapa tingkatan (*level*) dan jenis resolusi. Dalam penelitian ini, data PALSAR yang diolah terdiri dari data tingkat 1.0 dan 1.1 serta dalam *fine beam single polarization* (FBS) dan *fine beam double polarization mode* (FBD). Interferogram dibentuk berdasarkan dua data radar dalam format *Single Look Complex* (SLC) dengan resolusi FBS sehingga proses konversi format dan resolusi dilakukan dengan menggunakan algoritma range oversampling (Werner et al., 2007). Interferogram yang dihasilkan terdiri dari fasa kelengkungan bumi ( $\phi_{curv}$ ), fasa topografi ( $\phi_{topo}$ ), fasa akibat perbedaan orbit ( $\phi_{orb}$ ), fasa akibat deformasi ( $\phi_{defo}$ ), fasa dari atmosfer ( $\phi_{atm}$ ) dan fasa akibat gangguan lainnya ( $\phi_{noise}$ ), hubungan antara fasa tersebut

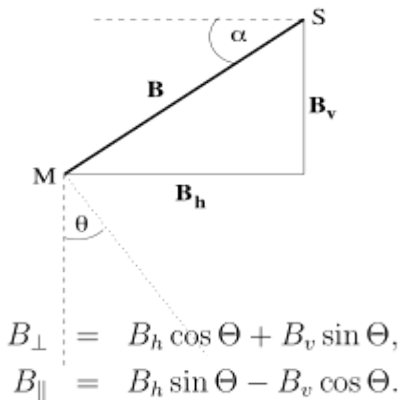
diformulasikan dengan rumus pada **Persamaan 1**.

$$\phi_G = \phi_{curv} + \phi_{topo} + \phi_{orb} + \phi_{defo} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \dots (1)$$

Kaitannya dengan perubahan permukaan atau deformasi, maka fasa selain deformasi harus dihilangkan dari interferogram. Untuk menghilangkan fasa topografi, data SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disimulasikan dalam sistem radar untuk dapat diperkurangkan dan dikenal dengan teknik *2-pass differential InSAR* (DInSAR). Fasa akibat kelengkungan bumi dan perbedaan orbit dapat dihilangkan dengan persamaan matematis seperti pada **Persamaan 2**.

$$\phi_{curv+orb} = \phi_G - \left\{ \frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta_G^0 - \alpha) + \frac{4\pi}{\lambda} B_{\parallel} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang radar,  $B$  adalah jarak antar orbit satelit (*baseline*),  $\theta_G^0$  adalah sudut pandang pada posisi tertentu,  $\alpha$  adalah sudut antara orbit satelit dan  $B_{\parallel}$  adalah jarak paralel orbit satelit (*parallel baseline*).



**Gambar 1.** Ilustrasi geometri jarak antar satelit (*baseline*)

Fasa akibat gangguan lainnya atau *noise* ( $\phi_{noise}$ ) dihilangkan dengan menerapkan *adaptive smoothing filtering* (Goldstein and Warner, 1998). Sedang untuk menghilangkan fasa akibat

atmosferik ( $\phi_{atm}$ ) digunakan persamaan linear terhadap ketinggian (Li *et al.*, 2006).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

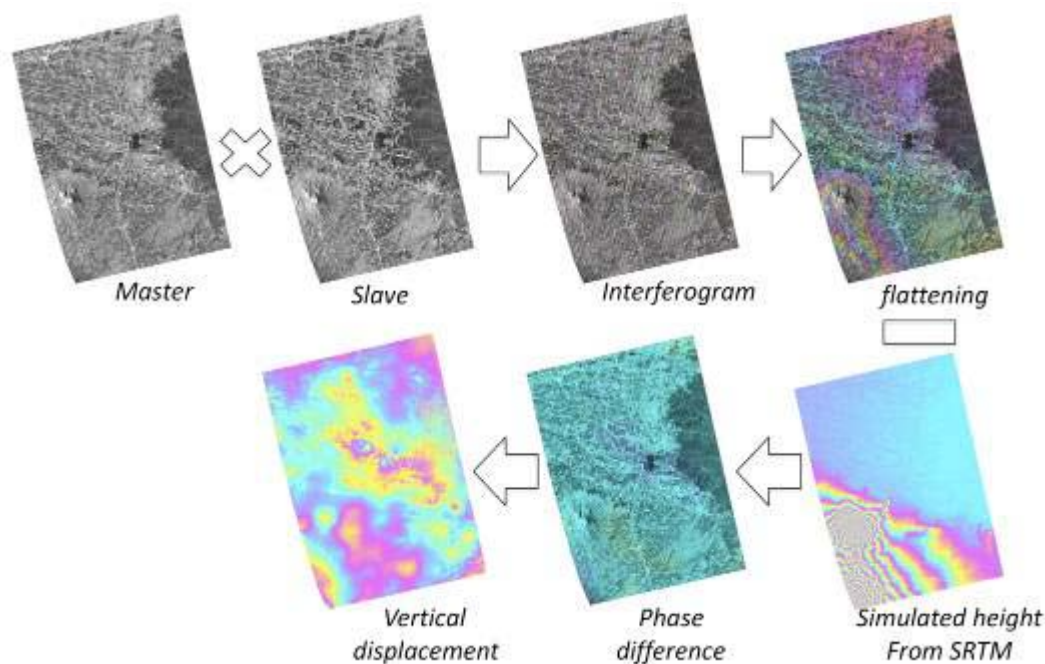
Lingkar warna (*fringes*) dari sebuah interferogram merepresentasikan informasi ketinggian (topografi) jika yang dihasilkan adalah *digital elevation model* (DEM); atau besaran deformasi jika teknik *differential* diterapkan. Lingkar warna ini sangat terkait dengan nilai *perpendicular baseline* dari jarak antar orbit satelit. Untuk keperluan deformasi, nilai *perpendicular baseline* sebaiknya yang sekecil mungkin sehingga efek dari topografi dapat diminimalkan.

Hasil pengolahan data memperlihatkan bahwa jarak perpendikular dari orbit satelit bervariasi dari 60 m sampai 820 m. Informasi ini memperlihatkan bahwa efek topografi sebaiknya dihilangkan dengan metode 2-pass DInSAR. Secara ringkas, data diolah berdasarkan data pengamatan tanggal 22 Agustus 2007 dan alur pengolahan data diilustrasikan pada **Gambar 2**.

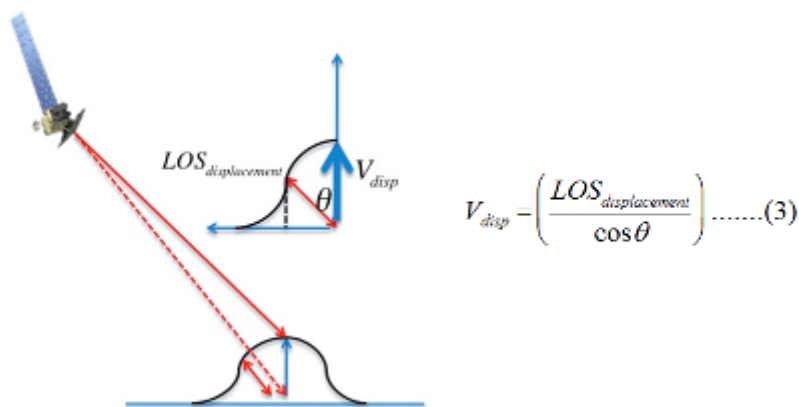
Informasi perubahan permukaan untuk komponen vertikal diperoleh dengan persamaan berdasarkan geometri dan **Persamaan 3**.

$$V_{disp} = \left( \frac{LOS_{displacement}}{\cos \theta} \right) \quad (3)$$

dengan  $V_{disp}$  adalah besaran deformasi untuk komponen vertikal,  $LOS_{displacement}$  adalah deformasi sepanjang arah pancaran gelombang yang diperoleh setelah proses *phase unwrapping* dan  $\theta$  adalah sudut pandang dari antenna ke target (*incidence angle*). Deformasi vertikal untuk seluruh hasil pengolahan data ditampilkan pada **Gambar 3**.



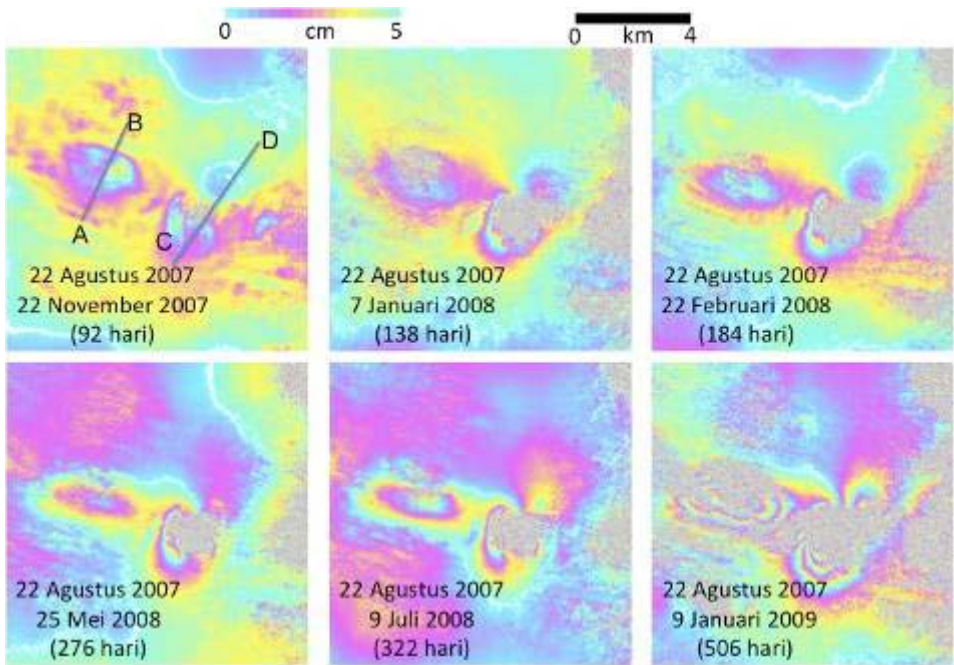
**Gambar 2.** Ringkasan alur pengolahan data dengan strategi 2-pass DInSAR



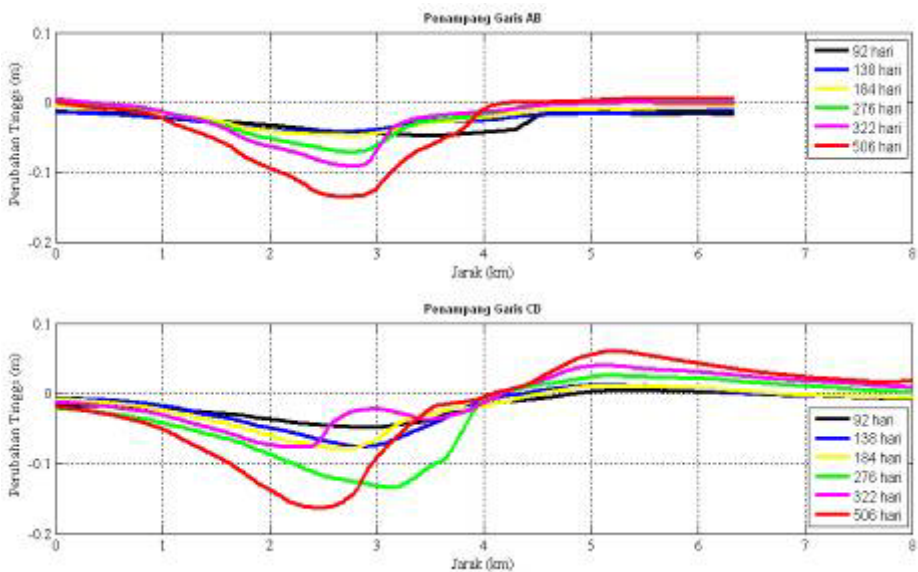
**Gambar 3.** Geometri perhitungan deformasi vertikal dari hasil DInSAR

Terlihat bahwa daerah yang mengalami deformasi sudah terlihat sejak dari interfe-rogram pertama dengan luasan daerah yang tidak berubah secara signifikan. Yang mengalami perubahan secara signifikan adalah besaran vertikal

yang terlihat semakin meningkat sampai interferogram terakhir. Apabila ditarik garis penampang AB dan CD seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 4**, maka perubahan vertikalnya dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Deformasi vertikal yang ditampilkan dalam bentuk interferogram



Gambar 5. Penampang melintang dari profile AB dan CD

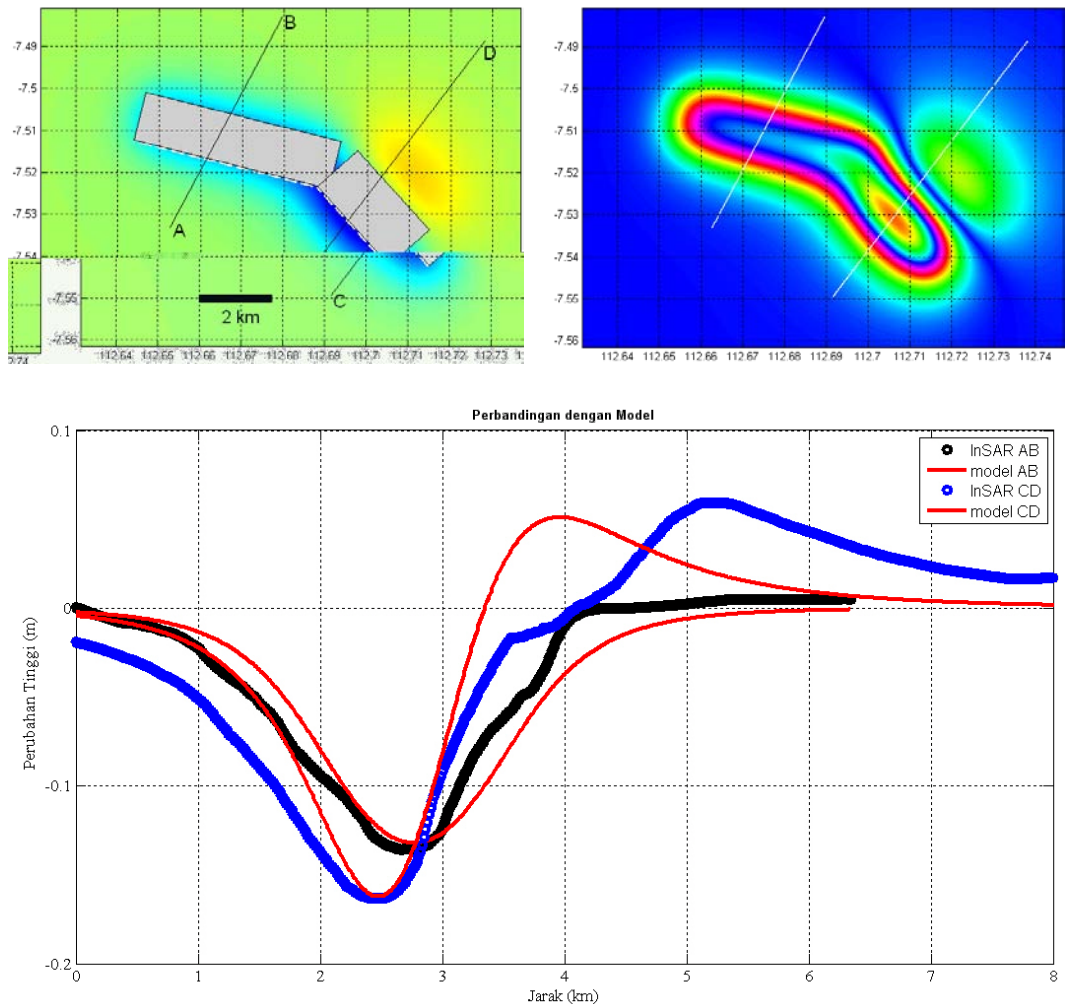
Pola perubahan permukaan memperlihatkan ada 2 wilayah dengan mekanisme yang berbeda. Pada wilayah bagian barat (daerah penampang AB) mengindikasikan pola perubahan penurunan permukaan (*land subsidence*)

akibat mekanime bukaan (*tensile*), sedangkan daerah di pusat semburan (daerah penampang CD) memperlihatkan pola mekanisme menyudut (*dip-slip*). Mekanisme ini sering dijumpai

pada aktivitas pergerakan magma dalam aktivitas kegunungan.

Dari hasil pemodelan perubahan permukaan berdasarkan model Okada (1992) diperkirakan bahwa titik sumber berada pada kedalaman sekitar 1 km di bawah permukaan yang berasal dari dua sumber yang berbeda. Besaran

pergeseran setelah 506 hari sekitar 20 cm untuk bukaan di daerah AB dan sekitar 70 cm dengan bidang sekitar 20 derajat untuk daerah CD. Dimensi bidang yang bergerak di bawah permukaan untuk tiap lokasi berkisar antara 1 sampai 2 km<sup>2</sup>.



Gambar 6. Hasil pemodelan perubahan permukaan

Perubahan permukaan dari hasil pemodelan data satelit radar sampai tanggal 9 Januari 2009 mengindikasikan lokasi bidang slip terletak pada kedalaman dangkal yaitu sekitar 1 km di bawah permukaan. Hasil yang diberikan

dari pengolahan data satelit radar menggunakan teknik interferometri ini memperlihatkan kemampuan mendeteksi lokasi perubahan permukaan yang dapat diterapkan pada aplikasi lainnya, misalnya penelitian kegunungan, perubahan



permukaan akibat gempa, penurunan permukaan tanah daerah perkotaan dan lain sebagainya.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Tulisan ini memperlihatkan salah satu aplikasi teknik interferometri pada data satelit radar untuk memantau deformasi permukaan bumi. Kajian terhadap berbagai jenis panjang gelombang radar sangat menarik untuk dilakukan dalam memben-dingkan hasil yang diperoleh. Selain itu algoritma dalam mengeliminasi noise dalam hasil interferogram juga menarik untuk dikembangkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) atas data PALSAR yang disediakan.

## DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H.Z., M.A. Kusuma, H. Andreas, M. Gamal and P. Sumintadireja. 2008. GPS-Based Monitoring of Surface Displacements in the Mud Volcano Area, Sidoarjo, East Java. *Observing our Changing Earth: International Association of Geodesy Symposia*. Vol. 133(4): 595-603, DOI: 10.1007/978-3-540-85426-5\_69.

Fukushima, Y.J. Mori, M. Hashimoto and Y. Kano. 2009. Subsidence Associated with the LUSI Mud Eruption, East Java, Investigated by SAR Interferometry, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 26(9): 1740-1750.

Goldstein, R.M. and Werner, C.L. 1998. Radar Interferogram Filtering for Geophysical Applications. *Geophysical*

*Research Letters*. Vol. 25(21): 4035-4038.

Khalilov, N.Y. and A.A. Kerimov. 1981. Origin of Mud Volcanism and Diapirism, *International Geological Review*. Vol. 25(8): 877-881.

Kholodov, V.N. 2002. Mud Volcanoes, their Distribution Regularities and Genesis: Communication 1. Mud Volcanic Provinces and Morphology of Mud Volcanoes. *Lithology and Mineral Resources*. Vol. 37(3): 197-209.

Kopf, A. J. 2002. Significance of Mud Volcanism, *Reviews of Geophysics*. Vol. 40(2) doi:10.1029/2000RG000093.

Li, Z.W., Ding, X.L., Huang, C., Wadge, G. and Zheng, D.W. 2006. Modeling of Atmospheric Effects on InSAR Measurements by Incorporating Terrain Elevation Information. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. Vol. 68(11): 1189-1194.

Okada, Y. 1992. Internal Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 82(2): 1018-1040.

Skinner, J.A. Jr. and A. Mazzini. 2009. Martian Mud Volcanism: Terrestrial Analogs and Implications for Formation Scenarios. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. 26(9): 1866-1878.

Werner, C., Wegmuller, U., Strozzi, T., Wiesmann, A. and Santoro, M. 2007. PALSAR Multi-Mode Interferometric Processing. *The First Joint PI symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program*, Kyoto.